

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА НЕРВНУЮ СИСТЕМУ

НАУМОВ А.Д.

Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины, г. Витебск, Республика Беларусь

Вестник ВГМУ. – 2020. – Том 19, №4. – С. 7-13.

THE IMPACT OF HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS ON THE NERVOUS SYSTEM

NAVUMAU A.D.

Vitebsk State Awarded the «Badge of Honour» Order Veterinary Medicine Academy, Vitebsk, Republic of Belarus

Vestnik VGMU. 2020;19(4):7-13.

Резюме.

Целенаправленное использование электромагнитной (ЭМ) энергии в самых различных областях жизнедеятельности привело к существенному увеличению ЭМ фона, значительно превышающего естественный, что вызывает обоснованную тревогу. Сложность ситуации объясняется: невозможностью ограничения действующего фактора; длительностью воздействия на большие группы населения, включая детей; неопределенностью взаимодействия различающихся источников электромагнитных полей (ЭМП) в пространстве и времени.

Цель статьи – показать современное состояние проблемы ЭМ излучения (ЭМИ) диапазона мобильной связи, акцентируя внимание на потенциально высокой биологической активности ЭМП для нервной системы.

Материал и методы. Материалом исследования послужили научные работы зарубежных и отечественных специалистов, связанные с изучением действия ЭМП на нервную систему человека и животных а эксперименте. Основные методы: теоретический анализ научных источников по исследуемой проблеме, включая и собственные работы, сравнение, обобщение и интерпретация представленных результатов.

Результаты. За последние десятилетия значительно выросли объемы использования мобильной связи, а вместе с этим и опасения о последствиях воздействия на здоровье ЭМП, образуемых телефонами и базовыми станциями. Имеется большое количество работ, в которых исследовали состояние нервной системы человека и животных в условиях действия ЭМИ.

В ряде исследований сообщается об отсутствии каких-либо существенных последствий, связанных с воздействием, в других работах сообщается о значительных нарушениях в центральной нервной системе (ЦНС). Имеются работы, сообщающие о благотворных последствиях воздействия ЭМП. Знания на эту тему все еще дополняются, и мы до сих пор не знаем все последствий такого воздействия ЭМП на человека. В связи с этим, дальнейшие исследования могут оказаться полезными для разрешения этой проблемы, предполагая использование стандартизированных протоколов облучения и тестирования, а также качественную дозиметрию, обеспечиваемую гетерогенными, реалистичными моделями животных.

Заключение. В связи с тем, что сохраняются пробелы в существующих знаниях, рекомендуется руководствоваться принципом предосторожности, предусматривая ограничение уровня воздействия электромагнитного излучения.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, мобильные телефоны, биологические эффекты, нервная система, добровольный риск.

Abstract.

The purposeful use of electromagnetic (EM) energy in various fields of life has led to a significant increase in the EM background, considerably exceeding the natural one, which causes reasonable alarm. The complexity of this situation is explained by: the impossibility of limiting the existing factor; long-term exposure on large population groups, including children; uncertain interaction of different sources of electromagnetic fields (EMF) in space and time.

Objectives. To show the current state of the electromagnetic radiation (EMR) problem of the mobile communication

range, focusing attention on the potentially high biological activity of EMF for the nervous system.

Material and methods. The material of the study was the research works of foreign and native experts who studied the influence of EMF on the nervous system of human beings and animals in an experiment. The main methods applied were theoretical analysis of scientific sources on the problem studied, including our own works, comparison, generalization and interpretation of the presented results.

Results. Over the past decade, the volume of mobile phone use has increased significantly as well as apprehensions for the health consequences of the impact of electromagnetic fields generated by phones and base stations. There is a great number of works in which the nervous system status of the human beings and animals was investigated in the conditions of electromagnetic radiation exposure. Some investigations report about the absence of any essential consequences connected with this exposure, others report on significant disturbances of the central nervous system (CNS). There are scientific works reporting about beneficial consequences of EMF exposure. Knowledge on this theme is still being supplemented and we up to now don't know all the consequences of such impact of EMF on human beings. In connection with this further investigations can be useful for the solution of this problem, supposing the application of standardized protocols of radiation and testing and also qualitative dosimetry, provided by heterogeneous realistic animal models.

Conclusions. Thus, due to the fact that gaps remain in the existing knowledge, it is recommended to be guided by the precautionary principle envisaging the level of electromagnetic radiation impact restriction.

Key words: *electromagnetic radiation, mobile phones, biological effects, the nervous system, voluntary risk.*

В современном мире значительно выросли объемы использования мобильных телефонов, а вместе с ними и опасения о последствиях воздействия на здоровье человека электромагнитных полей, образуемых телефонами и базовыми станциями. По обеспеченности сотовыми телефонами Беларусь находится среди высокоразвитых стран мира. Согласно данным Минсвязи, по итогам 2020 г общее число абонентов трех мобильных операторов в Республике Беларусь составило 11,609 млн на конец I квартала.

В таблице 1 приводится Международная классификация электромагнитных волн по частотам, характерным для мобильной связи.

Анализ современных исследований в области УВЧ, СВЧ и КВЧ диапазонов действия ЭМИ на биологические объекты свидетельствует о том, что их частотные характеристики заметно влияют на выраженность эффекта на организменном уровне. Считается, что даже незначительное изменение параметров действующего излучения требует проведения специальных исследований [1-3].

Рассматривая мобильный телефон (МТ) как источник электромагнитного излучения, следует отметить, его особенности: облучение происходит на максимальном приближении, действие ЭМИ распространяется на окружающих людей, частота и продолжительность электромагнитного воздействия контролируются пользователем.

Мобильные телефоны и базовые станции (БС), являясь источниками высокочастотного и сверхвысокочастотного излучения, непосредственно воздействуя на состояние здоровья, могут приводить и к косвенным эффектам, например, влиянию на работу медицинского оборудования, электронных систем управления и др. В таблице 2 приводятся параметры сотовых сетей.

Особый интерес представляют работы, касающиеся изучения влияния низкоинтенсивных ЭМП на центральную нервную систему (ЦНС), поскольку пользователь мобильного телефона сам контролирует периодичность и длительность воздействия ЭМИ РЧ (радиочастотного диапазона), во время которого оказывается непосред-

Таблица 1 – Международная классификация электромагнитных волн по частотам

Частотный диапазон	Границы диапазона	Наименование волнового диапазона	Сфера применения
Ультравысокие частоты, УВЧ	0,3-3 ГГц	Дециметровые 1-0,1 м	Микроволновая связь, спутниковая связь, телевидение
Сверхвысокие частоты, СВЧ	3-30 ГГц	Сантиметровые 10-1 см	Микроволновая и спутниковая связь
Крайневысокие частоты, КВЧ	30-300 ГГц	Миллиметровые 10-1 мм	Микроволновая и спутниковая связь

Таблица 2 – Параметры сотовых сетей

Название стандарта	Частотные диапазоны	Символ на экране телефона	Возможные обозначения сети в сервисном меню или приложениях
GSM-900 (2G)	900 МГц (Band 8)	E, G, нет значка	GSM900, EGSM900, Band 8
GSM-1800 (2G)	1800 МГц (Band 3)	E, G, нет значка	GSM1800, DCS, DCS1800, Band 3, Band 4
UMTS-900 (3G)	900 МГц (Band 8)	3G, H, H+	UMTS900, Band 8, Band 1 (900P)
UMTS-2100 (3G)	2100 МГц (Band 1)	3G, H, H+	Band 1, UMTS2100, WCDMA2100
LTE-800 (4G)	800 МГц (Band 20)	4G	800MHz, Band 20
LTE-1800 (4G)	1800 МГц (Band 3)	4G	LTE1800, DCS, DCS 1800, Band 3, Band 4
LTE-2600 FDD (4G)	2600 МГц (Band 7)	4G	LTE2600, Band 7
LTE-2600 TDD (4G)	2600 МГц (Band 38)	4G	Band 38

ственное влияние ЭМП на головной мозг и нервную систему в целом [4-5].

Материал и методы

Материалом исследования послужили научные работы зарубежных и отечественных специалистов, связанные с изучением действия ЭМП на биологические объекты включая человека. Основные методы: теоретический анализ научных источников по исследуемой проблеме, включая и собственные работы, сравнение, обобщение и интерпретация представленных результатов.

Результаты и обсуждение

Распространение телекоммуникационных технологий способствовало тому, что в настоящее время каждый человек подвергается воздействию электромагнитных волн, связанных с сетью мобильной связи [6, 7].

Несмотря на обширные эпидемиологические и экспериментальные исследования, особенно за последние 20 лет, не удалось решить вопрос о том, может ли низкоуровневое ЭМИ РЧ воздействие представлять опасность для здоровья населения. Хотя известно, что интенсивное воздействие сопровождается значительным нагревом всего тела или его частей. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) пришла к выводу, что воздействие на тепловом уровне мо-

жет вызвать нарушение когнитивных функций у животных при выполнении поведенческих задач, и эти изменения согласуются с реакциями на повышение температуры тела на 1°C и более градусов [8].

Во многих странах ведутся исследования воздействия ЭМИ на биологические объекты. В большинстве случаев данные экспериментов о воздействии высокочастотного излучения на живой организм носят очень общий и разнородный характер. В их число входит изучение как клеточных культур и тканей (*in vitro*), так и лабораторных животных (*in vivo*), а также людей (добровольцев). С одной стороны, в этих исследованиях основное внимание уделяется функциональным изменениям в головном мозге, которые связывают с отклонениями в когнитивной функции (воздействие излучения на голову). С другой стороны, изучается наличие взаимосвязи между использованием ЭМП и развитием канцерогенеза, воздействием на репродуктивную функцию и развитие организма, на сердечно-сосудистую систему и весь организм. Результаты этих исследований часто указывают на обратимые биологические и физиологические эффекты, которые необязательно приводят к развитию патологии. Считается, что ЭМИ относится к тем факторам, для определения степени влияния которых необходим длительный период времени [5, 9-12].

Исследования последствий действия ЭМП РЧ, исключающих нагрев, весьма противоречивы

и вызывают беспокойство тем, что возрастающий уровень ЭМ загрязнения окружающей среды может увеличить риск развития некоторых видов рака головного мозга, снизить мужскую фертильность или ухудшить когнитивные функции [1, 11-13].

Повышенный риск развития глиомы и акустической невралгии был обнаружен в эпидемиологических исследованиях на людях. Прежде всего на основании этих данных Международное агентство по исследованию рака (IARC) при Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) классифицировало в мае 2011 года ЭМИ в диапазоне частот 30 кГц-300 ГГц как «возможный» канцероген человека. Имеются «ограниченные» данные в пользу канцерогенного действия ЭМИ (группа риска 2B). Согласно информации Научного комитета по новым и вновь выявленным рискам для здоровья (SCENIHR), имеющиеся эпидемиологические данные не доказывают повышения риска опухолей головного мозга вследствие использования мобильных телефонов [14]. По данным Международной группы IARC эпидемиологические данные по глиоме, вызванной использованием мобильных телефонов, ограничены и необходимо провести дополнительные исследования в отношении долгосрочного (более 20 лет) интенсивного использования мобильных телефонов. На основе этого утверждения IARC распространил классификацию 2B на весь радиочастотный диапазон [15].

Использование шведского стационарного регистра (IPR) для анализа частоты опухолей головного мозга неизвестного типа (D43) в течение 1998-2015 гг. показало: в случаях с опухолью головного мозга неизвестного типа в ряде данных отсутствует морфологическое исследование. Диагноз опухоли головного мозга был основан на цитологии / гистопатологии в 83% для мужчин и в 87% для женщин в 1980 году. Эта частота увеличилась до 90% у мужчин и 88% у женщин в 2015 году. В этот же период времени были внедрены методы КТ и МРТ визуализации, а морфология не всегда необходима для диагностики. Если бы все опухоли головного мозга, основанные на клиническом диагнозе с помощью КТ или МРТ, были зарегистрированы в регистре рака, частота диагнозов, основанных на цитологии/гистологии, уменьшилась бы в регистре. Полученные результаты указывают на недостаточную отчетность случаев опухолей головного мозга в регистр рака. Реальная заболеваемость была бы

выше. Таким образом, тенденции заболеваемости, основанные на регистре рака, следует использовать с осторожностью.

Очевидно, что надежное определение состояния ЦНС возможно только при комплексном подходе, сочетающем электрофизиологические, поведенческие, нейрохимические и другие методы. С учетом сложности и противоречивости оценок реакций организма на ЭМИ следует, что перенос данных, полученных в эксперименте, на человека методами классической радиобиологии требует осторожности. Результаты таких исследований имеют относительный характер, поскольку не учитывают целый ряд специфических особенностей биологических организмов (перемещение в пространстве организма и его биологических сред, обмен веществ, терморегуляцию и др.). Тем не менее, высокая ценность определения удельной поглощенной мощности (УПМ) широко используется. Установлено наличие индивидуальных резонансных частот для различных частей тела (голова, шея, руки). Именно резонансные явления на теле представляют наибольшую опасность. Другая опасность связана с неравномерным поглощением энергии, градиент локальной УПМ может достигать значительных величин 8,0 и более Вт/кг. Для человека существуют локальные максимумы поглощения ЭМИ, располагающиеся, как правило, внутри головы, при облучении в диапазоне 750-2500 МГц. Величина поглощенной мощности зависит от формы и ориентации объекта относительно векторов ЭМП [3, 16].

Один из наиболее интересных вопросов, связанных с биологическими эффектами ЭМИ РЧ и возможностью того, что это воздействие может приводить к изменениям в когнитивном поведении человека и животных в эксперименте и естественной среде обитания.

В целом, имеющиеся публикации образуют весьма гетерогенную структуру как по экспериментальным моделям, так и по поведенческим изменениям. Наиболее распространенным методом является метод водного лабиринта Морриса, который предполагает, что экспериментальные животные обнаружат спасательную платформу в небольшом плавательном бассейне.

Радиальный лабиринт также широко использовался, и это требует от животного изучения расположения пищевых стимулов, расположенных на концах рукавов лабиринта. Оба лабиринта широко используются для изучения

пространственного обучения и памяти у грызунов. Кроме того, ряд исследователей применяли сухие версии водного лабиринта с использованием открытого поля [17-19].

В работах, сообщающих о наличии эффекта воздействия, использовался диапазон частот 900, 1800 и 2450 МГц, причем применялись как непрерывные, так и импульсные поля. Схемы воздействия были переменными с точки зрения длительности воздействия в день, количества дней воздействия и мощности. В ряде исследований животных в момент облучения «удерживали», но в некоторых исследованиях животные были свободны.

Исследования, которые сообщили об отсутствии эффекта ЭМИ РЧ, также образуют весьма неоднородную базу, как и в предыдущем случае.

Из-за неоднородности экспериментальных протоколов, примененных в этих исследованиях, сравнение между исследованиями и обобщения являются затруднительными.

Кроме того, в рамках ограничений существующей данных пол, возраст, вес животных, вероятно, не являлись определяющим фактором.

Считая, что все исследования были проведены с одинаковой тщательностью и точностью, а результаты представлены объективно, возникает вопрос, почему похожие исследования дают часто противоположные результаты. Следует предполагать, что неоднозначность результатов может быть обусловлена различиями в модели эксперимента, различиями в генетическом происхождении или различиями в состоянии здоровья животных, условиями содержания и проведения эксперимента.

В целом, эта неопределенность не дает ответа на вопрос о том, могут ли низкоуровневые ЭМП РЧ ухудшать когнитивное поведение лабораторных животных.

Заключение

Стремительный темп развития систем радио- и телекоммуникаций привел к формированию искусственного электромагнитного фона, принципиально отличающегося от естественного по своим характеристикам и чужеродного для биологических объектов и человека.

Совершенно неоправданным является подход к игнорированию или недооценке имеющихся данных, указывающих на возможность развития патологических процессов в нервной,

репродуктивной, сердечно-сосудистой и других системах организма.

В связи с тем, что отсутствует полная ясность в вопросах действия высокочастотных ЭМИ малой интенсивности (диапазон МТ), а данному влиянию подвергается практически все население Земного шара, следует обозначить это направление как приоритетное для исследований.

В повседневной жизни, при наличии проблем в знаниях о действии ЭМП на организм, следует руководствоваться принципом предосторожности, ограничивая воздействие ЭМИ на человека.

Литература

1. Верещако, Г. Г. Влияние электромагнитного излучения мобильных телефонов на состояние мужской репродуктивной системы и потомство / Г. Г. Верещако. – Минск : Беларус. навука, 2015. – 190 с.
2. Скоробогатая, И. В. Гигиеническая оценка электромагнитных излучений : учеб.-метод. пособие / И. В. Скоробогатая, Э. И. Леонович. – Минск : БГМУ, 2018. – 39 с.
3. Суворов, Н. Б. Медико-биологические аспекты электромагнитной экологии / Н. Б. Суворов // Мед. акад. журн. – 2010. – Т. 10, № 4. – С. 191–200.
4. Григорьев, Ю. Г. Радиобиология мобильной связи: современные аспекты фундаментальных и прикладных исследований / Ю. Г. Григорьев, А. П. Бирюков // Мед.-биол. проблемы жизнедеятельности. – 2014. – Т. 11, № 1. – С. 6–16.
5. Шибкова, Д. З. Эффекты воздействия электромагнитных излучений на разных уровнях организации биологических систем / Д. З. Шибкова, А. В. Овчинникова // Успехи современ. естествознания. – 2015. – № 5. – С. 156–159.
6. Григорьев, Ю. Г. Сотовая связь и здоровье. Электромагнитная обстановка. Радиобиологические и гигиенические проблемы. Прогноз опасности / Ю. Г. Григорьев, О. А. Григорьев. – Москва : Экономика, 2012. – 400 с.
7. Мордачев, В. И. Системная экология сотовой радиосвязи / В. И. Мордачев. – Минск : Издат. центр БГУ, 2009. – 319 с.
8. Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz) Environmental Health Criteria, No: 137 [Electronic resource] // Occup. Environ. Med. – 1994. – Vol. 51, N 10. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1136/oem.51.10.720-a>. – Date of access: 15.07.2020.
9. Колешко, В. М. Мобильные телефоны, смартфоны и старение организма / В. М. Колешко, Е. А. Воробьев, Н. А. Хмурович. – Минск : БНТУ, 2011. – 315 с.
10. Wdowiak, A. Evaluation of the effect of using mobile phones on male fertility / A. Wdowiak, L. Wdowiak, H. Wiktor // Ann. Agric. Environ. Med. – 2007. – Vol. 14, N 1. – P. 169–172.
11. Effect of electromagnetic waves on human reproduction / A. Wdowiak [et al.] // Ann. of Agric. Environ. Med. – 2017 Mar. – Vol. 24, N 1. – P. 13–18.
12. Наумов, А. Д. Влияние электромагнитных излучений на

репродуктивную функцию / А. Д. Наумов // Охрана материнства и детства. – 2019. – № 2. – С. 58–61.

13. Довгуша, В. И. Влияние естественных и техногенных электромагнитных полей на безопасность жизнедеятельности / В. И. Довгуша, М. Н. Тихонов, Л. В. Довгуша // Экология человека. – 2009. – № 12. – С. 3–9.
14. Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF) [Electronic resource] : SCENIHR adopted this Opinion at the 9th plenary meeting on 27 January 2015 / Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. – Mode of access: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf. – Date of access: 15.07.2020.
15. Health effects from radiofrequency electromagnetic fields [Electronic resource] : report of an Independent Advisory Group on Non-Ionising Radiation. – Mode of access: <https://www.ices-emfsafety.org/wp-content/uploads/2014/11/>

AGNIR_report_2012.pdf. – Date of access: 15.07.2020.

16. Microwave radiation absorption in the rat: frequency-dependent SAR distribution in body and tail / J. A. D'Andrea [et al.] // Bioelectromagnetics. – 1985. – Vol. 6, N 2. – P. 199–206.
17. Hodges, H. Maze procedures: the radial-arm and water maze compared / H. Hodges // Cogn. Brain Res. – 1996 Jun. – Vol. 3, N 3/4. – P. 167–181.
18. Vorhees, C. V. Morris water maze: procedures for assessing spatial and related forms of learning and memory / C. V. Vorhees, M. T. Williams // Nat. Protoc. – 2006. – Vol. 1, N 2. – P. 848–858.
19. Кадукова, Е. М. Влияние ионизирующего и неионизирующего излучений на поведение крыс-самок в тесте «Открытое поле» / Е. М. Кадукова, Д. Г. Сташкевич, А. Д. Наумов // Проблемы здоровья и экологии. – 2015. – № 2. – С. 55–59.

Поступила 08.06.2020 г.

Принята в печать 10.08.2020 г.

References

1. Vereshchako GG. The influence of electromagnetic radiation of mobile phones on the status of the male reproductive system and offspring. Minsk, RB: Belarus navuka; 2015. 190 p. (In Russ.)
2. Skorobogataia IV, Leonovich EI. Gigienicheskaya otsenka elektromagnitnykh izluchenii: ucheb-metod posobie. Minsk, RB: BGMU; 2018. 39 p.
3. Suvorov NB. Medical and biological aspects of electromagnetic ecology. Med Akad Zhurn. 2010;10(4):191–200. (In Russ.)
4. Grigorev IuG, Biriukov AP. Radiobiology of mobile communication: current aspects of basic and applied research. Med-Biol Problemy Zhiznedeiatel'nosti. 2014;11(1):6–16. (In Russ.)
5. Shibkova DZ, Ovchinnikova AV. Effects of exposure to electromagnetic radiation at different levels of organization of biological systems. Uspekhi Sovremen Estestvoznaniia. 2015;(5):156–9. (In Russ.)
6. Grigorev IuG, Grigorev OA. Cellular communication and health. Electromagnetic environment. Radiobiological and hygienic problems. Prognosis of danger. Moscow, RF: Ekonomika; 2012. 400 p.
7. Mordachev VI. System ecology of cellular radio communication. Minsk, RB: Izdat tsentr BGU; 2009. 319 p. (In Russ.)
8. Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz) Environmental Health Criteria, No: 137. Occup. Environ. Med. 1994;5(10). Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/oem.51.10.720-a>. [Accessed 15 Jul 2020].
9. Koleshko VM, Vorobev EA, Khmurovich NA. Cell phones, smartphones and aging organisms. Minsk, RB: BNTU; 2011. 315 p. (In Russ.)
10. Wdowiak A, Wdowiak L, Wiktor H. Evaluation of the effect of using mobile phones on male fertility. Ann Agric Environ Med. 2007;14(1):169–72.
11. Wdowiak A, Mazurek PA, Wdowiak A, Bojar I. Effect of electromagnetic waves on human reproduction. Ann Agric Environ Med. 2017 Mar;24(1):13–18. doi: 10.5604/12321966.1228394
12. Naumov AD. Effect of electromagnetic radiation on reproductive function. Okhrana Materinstva Detstva. 2019;(2):58–61. (In Russ.)
13. Dovgusha VI, Tikhonov MN, Dovgusha LV. Effect of natural and man-made electromagnetic fields on life safety. Ekologiya Cheloveka. 2009;(12):3–9. (In Russ.)
14. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF): SCENIHR adopted this Opinion at the 9th plenary meeting on 27 January 2015. Available from: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf. [Accessed 15 Jul 2020].
15. Health effects from radiofrequency electromagnetic fields: report of an Independent Advisory Group on Non-Ionising Radiation. Available from: https://www.ices-emfsafety.org/wp-content/uploads/2014/11/AGNIR_report_2012.pdf. [Accessed 15 Jul 2020].
16. D'Andrea J, Emmerson R, Bailey CM, Olsen RG, Gandhi OP. Microwave radiation absorption in the rat: frequency-dependent SAR distribution in body and tail. Bioelectromagnetics. 1985;6(2):199–206. doi: 10.1002/bem.2250060211
17. Hodges H. Maze procedures: the radial-arm and water maze compared. Cogn Brain Res. 1996 Jun;3(3-4):167–81. doi: 10.1016/0926-6410(96)00004-3
18. Vorhees CV, Williams MT. Morris water maze: procedures for assessing spatial and related forms of learning and memory. Nat Protoc. 2006;1(2):848–58. doi: 10.1038/nprot.2006.116
19. Kadukova EM, Stashkevich DG, Naumov AD. Effect of ionizing and non-ionizing radiation on female rat behavior in the Open Field test. Problemy Zdorov'ia Ekologii. 2015;(2):55–9. (In Russ.)

Submitted 08.06.2020

Accepted 10.08.2020

Сведения об авторах:

Наумов А.Д. – д.б.н., доцент, профессор кафедры радиологии и биофизики, Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины.

Information about authors:

Navumau A.D. – Doctor of Biological Sciences, professor of the Chair of Radiology & Biophysics, Vitebsk State Awarded the «Badge of Honour» Order Veterinary Medicine Academy.

Адрес для корреспонденции: Республика Беларусь, 210036, г. Витебск, пр. Независимости, 14. E-mail: adnaumov@tut.by – Наумов Александр Дмитриевич.

Correspondence address: Republic of Belarus, 210036, Vitebsk, 14 Nezavisimosty ave. E-mail: adnaumov@tut.by – Aliaksandr D. Navumau.